HRECHKA A.V., GOLOVKO V.A. The intelligent system to creation schedule for operators of Calls Service Center

In this paper the intelligent system to creation schedule for operators of Calls Service Center have been addressed. This system forecasts load (estimated amount of calls per time scale) based on input data (calendar period), calculates optimal number of operators and creates shift map. Then it is created resulting schedule according to the information about shifts and operators.

УДК 004.5;621.38

Бутов А.А.

ПРОСТОЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ БУЛЕВОЙ ФОРМУЛЫ МНОГОУГОЛЬНИКА В ДИЗЪЮНКТИВНОЙ НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ

Введение. Традиционные способы описания геометрических объектов основаны на использовании методов вычислительной геометрии [1] и имеют практическое применение, например, в системах автоматизированного проектирования (САПР) топологии интегральных схем [2, 3]. Однако в последнее время появились альтернативные способы описания, основанные на использовании булевых формул: в работе [4] предложен метод нахождения булевой формулы многоугольника в скобочной форме, в работе [5] – в более привычной дизъюнктивной нормальной форме. Однако для алгоритма из [5], как и для многих алгоритмов вычислительной геометрии, характерно наличие проблемы вычислительной точности. Она заключается в том, что хотя теоретически строго обоснована правильность работы алгоритма, однако на практике встречаются задачи, для которых алгоритм не работает или работает некорректно в силу ограниченной точности представления вещественных чисел в памяти компьютера и потери точности в промежуточных вычислениях. Практика разработки САПР в области проектирования топологии интегральных схем показала, что такой эффект возникает, в частности, если в алгоритме используется операция разбиения стороны топологического объекта на отрезки, которые далее используются в качестве операндов.

В настоящей работе предлагается достаточно простой и приемлемый на практике метод нахождения булевой формулы многоугольника в дизъюнктивной нормальной форме, который основан на использовании двух простых операций: вычисления угла между прямыми и проверки факта принадлежности вершин многоугольника его выпуклой компоненте, что снимает указанную выше проблему вычислительной точности.

Основные определения, постановка задачи. Многоугольник, расположенный на плоскости, задается своей *границей* – замкнутой не пересекающейся ломаной линией, состоящей из отрезков прямых или *сторон* многоугольника. Эту границу можно определить последовательностью *угловых точек* или *вершин* многоугольника, получаемых при обходе его по границе справа: $p_1, p_2, \ldots, p_n$ (рис. 1, где $n = 10$).

Так как каждая пара соседних угловых точек ограничивает соответствующую сторону многоугольника, то его границу можно задать также последовательностью сторон многоугольника: $s_1, s_2, \ldots, s_n$, где $s_1 = (p_1, p_2)$, $s_2 = (p_2, p_3)$, ..., $s_n = (p_n, p_1)$.

Вершина p_1, которая служит начальной точкой для последовательного обозначения отрезков, образующих границу многоугольника, называется *начальной*. В качестве начальной будем выбирать вершину, наиболее удаленную от координатной оси X (если таких вершин несколько, то среди них выбирается вершина, наиболее удаленная от координатной оси Y).

Вершина многоугольника называется *крайней*, если через нее можно провести прямую, не пересекающуюся ни с одним из отрезков границы за исключением двух соседних отрезков, на стыке которых эта вершина располагается. На рисунке 1 таких вершин шесть, и они отмечены жирными кружками. Начальная вершина p_1, как следует из указанного выше способа ее выбора, всегда принадлежит множеству крайних вершин многоугольника.

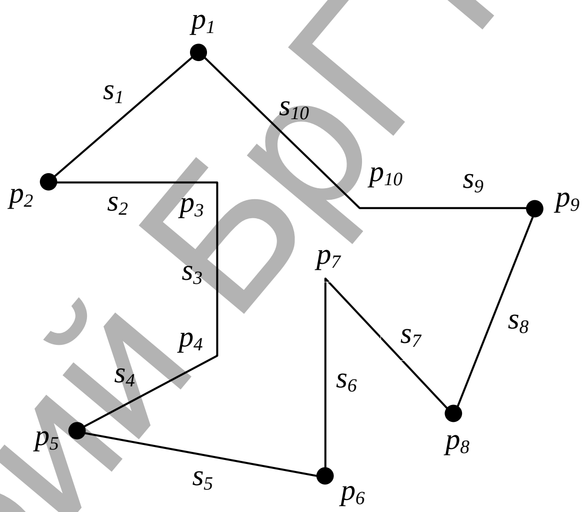


Рис. 1. Угловые точки и стороны многоугольника

Каждой стороне s_i многоугольника поставим в соответствие *ориентированную прямую* v_i, содержащую точки p_i и p_{i+1}. Положим, что она ориентирована от p_i к p_{i+1}.

Рассмотрим некоторую произвольную точку плоскости p, заданную парой декартовых координат (x, y). Будем считать, что точка p расположена *слева от прямой* v_i если она принадлежит полуплоскости, расположенной слева от ориентированной прямой v_i, или лежит на прямой v_i. Все возможные варианты левостороннего расположения точки p относительно ориентированной прямой v_i представлены на рисунке 2 (последние два варианта соответствуют случаю, когда прямая v_i параллельна координатной оси X).

Как и в работе [4], будем в дальнейшем обозначать отрезки ломаной буквами $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{c}$, ..., границу многоугольника – как $\boldsymbol{abc}$..., а полуплоскости, расположенные слева от соответствующих ориентированных прямых – буквами A, B, C, ... (считая, что каждая из этих полуплоскостей включает в себя еще и все точки порождающей ее ориентированной прямой). Введем также предикаты a, b, c, ... для описания положения некоторой точки p на плоскости, полагая, что $a(p) = 1$, если и только если $p \in A$.

Основываясь на таких предикатных переменных, в работе [4] описан метод построения скобочной булевой формулы F, представляющей многоугольник и обладающей следующим свойством: если выполнить подстановку предикатных координат произвольной точки плоскости, то формула F примет значение 1 в случае, когда точка принадлежит данному многоугольнику, и значение 0 – в противном случае.

Аналогичная задача решается и в работе [5], однако булева формула F там строится в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ).

***Бутов А.А.**, к.т.н., доцент кафедры экономической кибернетики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.*
Беларусь, БГУИР, 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.

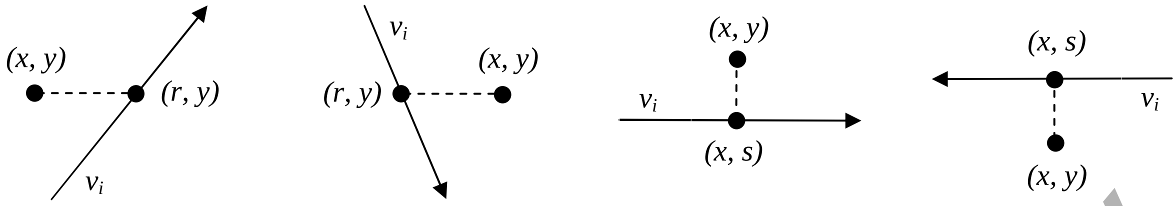


Рис. 2. Варианты ориентации точки относительно прямой

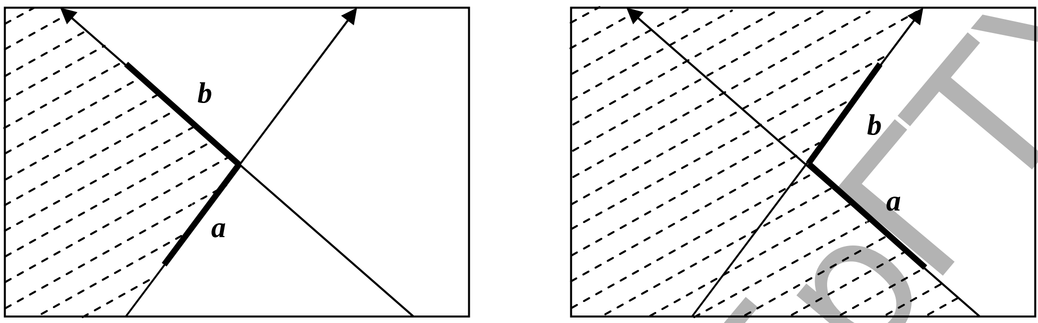


Рис. 3. Участки плоскости, ограниченные выпуклым (слева) и вогнутым (справа) углами

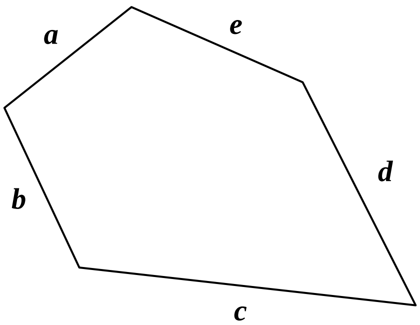


Рис. 4. Выпуклый многоугольник

В настоящей работе также предлагается метод нахождения булевой формулы многоугольника в ДНФ, однако он более простой по сравнению с методом из [5] и снимает существующую там проблему вычислительной точности. Простота метода, тем не менее, позволяет обеспечить вполне приемлемое на практике качество получаемых решений.

Простые фрагменты границы многоугольника. Рассмотрим пару соседних отрезков ***a*** и ***b***, задающую некоторый угол многоугольника. Если этот угол меньше 180 градусов, будем называть его *выпуклым*, иначе – *вогнутым*.

Пара ориентированных прямых, соответствующая отрезкам ***a*** и ***b***, ограничивает участок плоскости, который можно представить формулой $A \cap B$ в первом случае и формулой $A \cup B$ – во втором случае (рис. 3).

Если все углы многоугольника будут выпуклыми, то такой многоугольник называется выпуклым (рис. 4). В этом случае булева формула многоугольника будет представлять собой конъюнкцию предикатных переменных: $F = abcde$.

В общем случае многоугольник может содержать как выпуклые, так и вогнутые углы. Последовательность следующих друг за другом выпуклых углов образует *выпуклый фрагмент* границы многоугольника, последовательность вогнутых углов – *вогнутый фрагмент*. При этом выпуклый фрагмент ограничивает участок плоскости, который представляется *пересечением* полуплоскостей, ограниченных отдельными ориентированными прямыми (рис. 5, а). Аналогично, вогнутый фрагмент представляется *объединением* таких полуплоскостей (рис. 5, б). Выпуклый и вогнутый фрагменты называются *полными*, если их уже нельзя расширить добавлением соседних элементов границы.

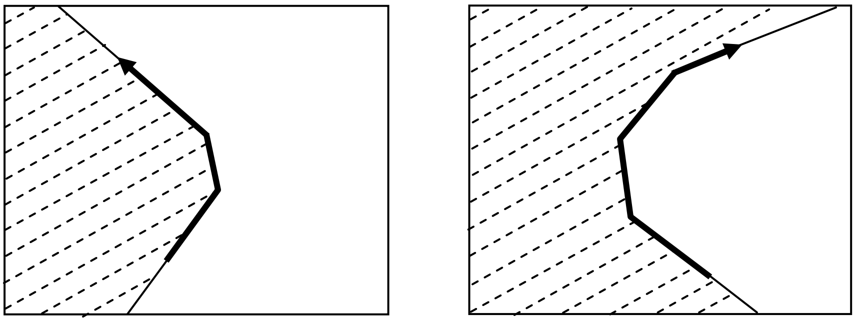
Таким образом, граница многоугольника будет состоять из чередующихся выпуклых и вогнутых фрагментов. Граница выпуклого многоугольника представляет собой замкнутый выпуклый фрагмент.

Нахождение булевой формулы многоугольника в ДНФ. В работах [4, 5] показано, что булеву формулу любого многоугольника можно представить в ДНФ, которая соответствует покрытию многоугольника его выпуклыми компонентами.

Предлагаемый метод нахождения булевой формулы многоугольника в ДНФ заключается в последовательном отсечении от него выпуклых компонент до тех пор, пока непокрытый выпуклыми компонентами остаток многоугольника не станет выпуклой компонентой. После этого все полученные выпуклые компоненты заменяются представляющими их конъюнкциями соответствующих предикатных переменных, а дизъюнкция этих конъюнкций даст искомую булеву формулу многоугольника в ДНФ.

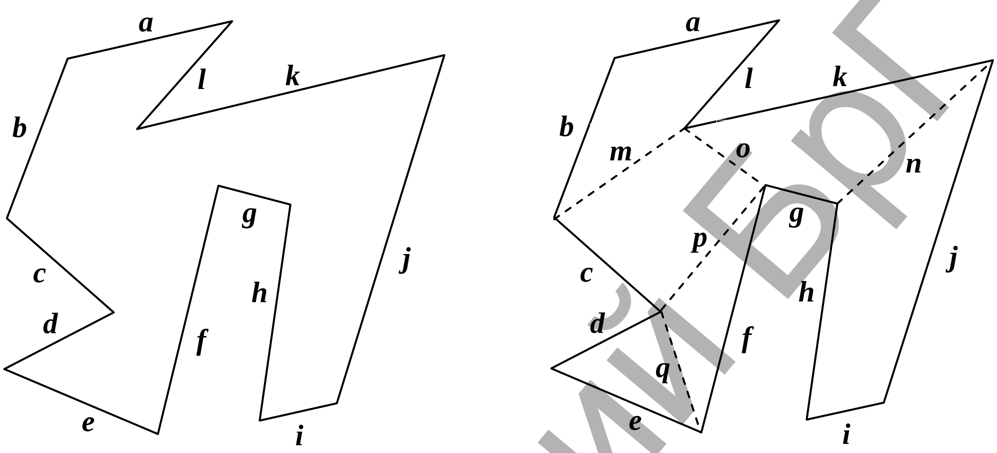
Нахождение очередной выпуклой компоненты включает в себя следующие действия.

1. Отыскивается начальная вершина непокрытого остатка многоугольника.
2. Находится полный выпуклый фрагмент границы непокрытого остатка, включающий в себя начальную вершину.
3. Из непокрытого остатка выделяется компонента, представляющая собой многоугольник, ограниченный найденным выпуклым фрагментом и отрезком прямой, соединяющим последнюю и первую вершины этого фрагмента.
4. Выполняется проверка, являются ли выпуклыми углы, прилегающие к первой и последней вершинам выпуклого фрагмента, на основе которого построена компонента. Если оба этих угла оказываются выпуклыми (т.е. компонента представляет собой выпуклый многоугольник), то выполняется переход к следующему пункту, иначе операция выделения компоненты отменяется, а выпуклый фрагмент корректируется путем удаления последнего элемента его границы. Затем из непокрытого остатка вновь выделяется компонента, ограниченная скорректированным выпуклым фрагментом и отрезком прямой, соединяющим последнюю и первую вершины этого фрагмента. Далее выполняется переход к началу данного пункта.
5. Выполняется проверка: содержится ли внутри выпуклой компоненты хотя бы одна из тех вершин исходного многоугольника, которые не принадлежат этой компоненте. Если таких вершин нет, то выполняется переход к следующему пункту, иначе операция выделения компоненты отменяется, а лежащий в основе ее построения выпуклый фрагмент корректируется путем



а) б)

Рис. 5. Фрагменты границы многоугольника: а) выпуклый, б) вогнутый



а) б)

Рис. 6. а) многоугольник, б) его выпуклые компоненты

удаления последнего элемента его границы. Затем из непокрытого остатка вновь выделяется выпуклая компонента, ограниченная скорректированным выпуклым фрагментом и отрезком прямой, соединяющим последнюю и первую вершины этого фрагмента. Далее выполняется переход к началу данного пункта.

6. Выполняется альтернативный расчет путем повторения всех описанных выше операций с тем лишь отличием, что при корректировке выпуклого фрагмента удаляется не последний, а первый элемент его границы.
7. Из двух альтернативных решений выбирается тот, которому соответствует выпуклый компонент с большим числом сторон.
8. Непокрытый остаток корректируется путем отсечения от него части, покрываемой найденным выпуклым компонентом.

Замечание. Иногда может возникнуть ситуация, когда из непокрытого остатка не удается выделить выпуклую компоненту, удовлетворяющую описанным выше критериям. В этом случае расчет нужно повторить с тем лишь отличием, что вместо начальной вершины непокрытого остатка используется любая из его крайних вершин.

Изложенный метод проиллюстрируем на примере многоугольника, изображенного на рисунке 6, а.

Поиск первой выпуклой компоненты начинается с нахождения начальной вершины многоугольника. Ею будет вершина, лежащая на стыке сторон ***a*** и ***l***. Полным выпуклым фрагментом, включающим в себя эту вершину, будет фрагмент ***labc***. Альтернативные решения порождаются его подмножествами ***lab*** и ***bc***. В итоге отыскивается выпуклый компонент с границей ***labm*** (см. рис. 6, б), который будет первым элементом покрытия исходного многоугольника выпуклыми компонентами.

Далее те же действия выполняются применительно к непокрытому остатку с границей ***kmcdefghij***. Его начальной вершиной будет вершина, лежащая на стыке сторон ***k*** и ***j***, а полным выпуклым фрагментом – фрагмент ***hijkmc***. Альтернативные решения порождаются его подмножествами ***hij*** и ***cm***. В итоге отыскивается выпуклый компонент с границей ***nhij***, который будет вторым элементом искомого покрытия.

Снова выполняются аналогичные действия по отношению к непокрытому остатку с границей ***kmcdefgn***. В итоге отыскивается третий элемент покрытия с границей ***kogn***.

Четвертым элементом покрытия будет элемент с границей ***mcpo***, пятым – элемент с границей ***deq***.

Так как оставшийся непокрытый остаток с границей ***pqf*** представляет собой выпуклый многоугольник, то он становится последним, шестым элементом искомого покрытия.

В результате булева формула многоугольника в ДНФ будет иметь следующий вид:

$$F = abml \vee nhij \vee kog\bar{n} \vee \bar{m}cp\bar{o} \vee deq \vee \bar{p}\bar{q}f.$$

Заключение. В настоящей работе описан достаточно простой и приемлемый на практике метод нахождения булевой формулы многоугольника в ДНФ, который основан на использовании двух простых операций: вычисления угла между прямыми и проверки факта принадлежности вершин многоугольника его выпуклой компоненте, что снимает характерную для многих алгоритмов проблему вычислительной точности. Однако это преимущество достигается за счет введения дополнительных предикатных переменных. Как нетрудно видеть, решение исходной задачи ищется в классе покрытий многоугольника непересекающимися выпуклыми компонентами, в то время как оптимальные решения (приближенные кратчайшие и минимальные ДНФ) допускают пересечения элементов, образующих покрытие. Поэтому данный метод может быть использован еще и в качестве первого этапа поиска более качественного решения. Например, основываясь на найденных выпуклых компонентах, можно приведенную выше формулу F преобразовать к следующему виду:

$$F = abcl \; (\; khij \; (\; kgj \; (\; kbcf \; (\; def.$$

Такое преобразование позволяет избавиться от дополнительных предикатных переменных и уменьшить на единицу число членов ДНФ, однако алгоритм такого преобразования является нетривиальным и в данной работе не описывается.

Необходимо отметить, что направление исследований, связанное с представлением многоугольников булевыми формулами, открывает новые возможности для решения широкого круга оптимизационных задач, например, в области топологического проектирования интегральных схем, путем использования развитого аппарата булевой алгебры.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: введение; пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
2. Фейнберг, В.З. Геометрические задачи машинной графики больших интегральных схем. – М.: Радио и связь, 1987. – 178 с.
3. Шестаков, Е.А. Автоматизированная система подготовки информации для формирования фотошаблонов / Е.А. Шестаков, А.А. Бутов, Т.Л. Орлова, А.А. Воронов // Искусственный интеллект. – Донецк. – 2008. – № 4. – С. 200–207.
4. Закревский, А.Д. Канонические булевы формулы многоугольников // Информатика. – 2009. – № 2. – С. 93–101.
5. Поттосин, Ю.В. Использование булевых функций для представления многоугольников / Ю.В. Поттосин, Е.А. Шестаков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2008. – № 2(3). – С. 106–115.

Материал поступил в редакцию 15.12.11

BUTOV A.A. A simple method of finding the polygon Boolean formula in disjunctive normal form

A relatively simple and acceptable in practice method of solving the problem of constructing a polygon shape Boolean formula in disjunctive normal form. The method is based on two simple operations: 1) the calculation of the angle between the lines; 2) verification of the fact of belonging of the polygon vertices to a convex component.

Simplicity of the method eliminates the problem of computational accuracy. The latter consists in the fact that it is theoretically possible to rigorously prove the correctness of the algorithm, but in practice there are problems for which the algorithm is not working or not working properly due to limited accuracy of the representation of real numbers in computer memory and loss of precision in intermediate calculations.

The method can be used, particularly in computer-aided design of integrated circuits.

УДК 004.8.032.26

Войцехович О.Ю.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВДОЛЬ ГОРОДСКОЙ МАГИСТРАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНОГО ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ

Введение. Дорожное движение является неотъемлемой частью современного общества, и это объясняет высокие требования к дорожным сетям. Скопления транспорта на дорожной сети приводит к задержкам, которые являются причиной существенных издержек для общества и бизнеса ежедневно, а также увеличения вредных выбросов и риска несчастных случаев. Снизить количество заторов, может более эффективное использование существующих дорог, которое может быть достигнуто, в частности, правильной настройкой параметров светофоров.

Постановка задачи. Задача состоит в разработке адаптивной системы управления транспортом, работающей в режиме реального времени, способной координировать светофоры для улучшения дорожной ситуации в целом. Эффективность системы должна быть проверена с помощью моделирования. Таким образом, еще одна задача состоит в моделировании, тестировании и оценке разработанной системы.

Описание системы. Адаптивная система управления – это система с обратной связью, которая может настраиваться. Измеренные состояния реальной системы являются входными данными для системы управления. Система управления выдает решения, которые с помощью механизма управления поступают в реальную систему.

В разрабатываемой адаптивной системе управления автотранспортом входными данными являются данные, считываемые с детекторов, и сигналы светофоров. Адаптивная система управления состоит из 3 частей: предсказания прибытий и очередей (обрабатывает данные с детектора и осуществляет предсказание); системы принятия решений (строит дерево решений и выбирает оптимальные времена и длительности горения зеленого и красного сигналов для магистрали и прилегающих дорог); продвижения (модифицирует массив, где хранятся данные о распознанных пачках транспортных средств).

Разрабатываемая система управления работает на уровне пачек автомобилей и их скоростей. Критерием оптимизации являются средние задержки, которые необходимо свести к минимуму. Система предсказывает транспортный поток, чтобы осуществить упреждающее управление. Система с помощью построения бинарного дерева решений выбирает оптимальные настройки светофоров, которые отвечают сделанным предсказаниям.

В отличие от большинства существующих аналогов, наша система является проактивной (упреждающей). Это значит, что акцент смещается от модификации временных параметров, реагирующих на уже случившиеся изменения транспортного потока, к упреждающей настройке параметров светофора для предсказываемого состояния транспортного потока. Система отвечает на стохастический характер транспортного потока наиболее точно и гибко.

Система требует: 1) информацию о транспортном потоке (от датчиков); 2) обмен данными в режиме реального времени с процессором; 3) вычислительные возможности на уровне PC. Система нуждается во входной информации о характеристиках транспортного потока, считываемой с датчиков в реальном времени. Система является централизованной. Данные со всех датчиков собираются в центр управления, где происходит прогнозирование и выбор оптимальных фаз, и затем данные передаются на перекрестки.

Предсказание. В основе представленной здесь модели предсказания лежит работа Larry K. Head [1]. Однако в предсказание были внесены значительные изменения, прежде всего в принципе расположения детекторов, что в свою очередь изменило и сам алго-

Войцехович Оксана Юрьевна, *аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.*
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.